

88/2350



82

18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 195 28 563 A 1

21 Aktenzeichen: 195 28 563.8
22 Anmeldetag: 3. 8. 95
23 Offenlegungstag: 6. 2. 97

61 Int. Cl. 8:
H 04 B 17/00
H 04 B 7/28
H 04 B 14/00
H 04 L 12/28
H 04 Q 1/20
H 04 Q 7/34
G 01 R 29/00

DE 195 28 563 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

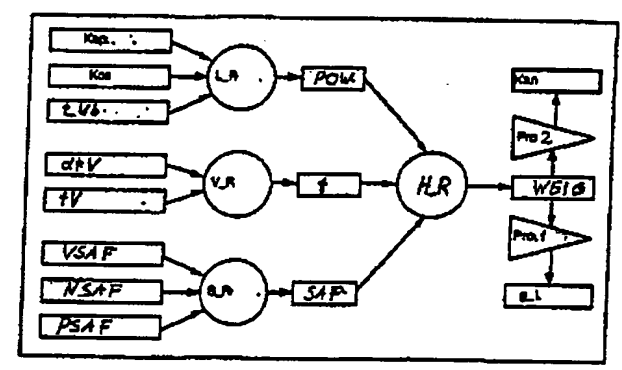
72 Erfinder:
Arnold, Wolfgang, 40699 Erkrath, DE; Hellendorf, Johann, Dr.-Ing., 81730 München, DE; Seising, Rudolf, Dipl.-Math., 81541 München, DE; Thomas, Christoph, Dipl.-Inform., 82024 Taufkirchen, DE

68 Entgegenhaltungen:
DE 43 08 512 A1
SEGALL, Adrian: Failsafe Distributed Algorithms for Routing in Communication Networks. In: GRANGE, Jean-Louis, GIEN, Michel (Hrsg.): Flow Control in Computer Networks. Proceedings of the International Symposium on Flow Control in Computer Networks, Versailles, Frankreich, 12.-14.2.1979, Participants Edition, Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publishing Company, 1979, S.235-240 - ISBN 0-444-85297-2;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Kommunikationsanordnung und Verfahren zur Bewertung von mindestens zwei mehrteiligen Kommunikationsverbindungen zwischen zwei Kommunikationspartnern in einem Mehrknotennetzwerk

57 Mit der Erfindung wird ein Verfahren und eine Anordnung zur Bewertung von Kommunikationsverbindungen in Mehrknotennetzen angegeben. Dabei werden zwei mögliche Leitungen bezüglich ihrer Leistung, ihres Zeitverhaltens und ihrer Sicherheitsaspekte durch Fuzzy-Logik beurteilt. Daraus ergeben sich Zwischenvariablen, welche mittels eines Hauptregelsatzes zu einem Gewichtungsfaktor für die jeweilige Leitung verarbeitet werden. Von einem Routing-Verfahren, welches den kürzesten Pfad für eine Kommunikationsverbindung festlegen soll, wird dieser Gewichtungsfaktor weiter verwendet, um die entsprechende Verbindung festzulegen. Besonders günstig wird diese Erfindung in einem Mehrknotennetzwerk realisiert.



DE 195 28 563 A 1

Beschreibung

Der Ausbau der zur Verfügung stehenden Kommunikationsnetze schreitet weltweit zügig voran. Als Beispiele sei hier das Internet genannt. In solchen Kommunikationsnetzwerken können Kommunikationspartner über unterschiedliche Relaisstationen auf verschiedenen Kommunikationspfaden verbunden werden. Solche Kommunikationsnetzwerke sind hochkomplexe Systeme, welche beispielsweise mehrere tausend Komponenten enthalten. Eine große Bedeutung kommt deshalb der routing Funktion des Netzwerkes zu, welche jede Verbindung von einer Komponente zu der anderen Komponente im Netzwerk auswählt, über welche eine Nachricht transportiert werden soll. Im ISO-OSI Referenzmodell für Kommunikationsnetzwerke ist die Auswahl der besten Kommunikationsverbindung zwischen einem Sendeknoten und einem Bestimmungsknoten eine der Hauptfunktionen des dritten Layer. Das Problem, für einen Kommunikationsteilnehmer die bestmögliche Verbindung ausfindig zu machen tritt in jedem Netzwerk auf, welches es nicht erlaubt, einen Sender direkt mit einem Empfänger mittels einer einzigen Übertragungsverbindung zu verbinden, sondern wo statt dessen mehrere Kommunikationszwischenpfade überbrückt werden müssen. Das Routing Problem in Netzwerken stellt deshalb ein archetypisches kombinatorisches Optimierungsproblem für solche Mehrknotennetzwerke dar.

Beim Aufbau einer Kommunikationsverbindung über mehrere Relaisstationen, wenn dabei unterschiedliche Kommunikationspfade zwischen zwei Kommunikationspartnern möglich sind, spricht man häufig von Routing. Um das Netz nicht unnötig zu belasten, werden kürzestmögliche Pfade zwischen zwei Partnern angestrebt. Solche Routing-Strategien des kürzesten Pfades basieren beispielsweise auf Information über die Netzwerktopologie. Beispielsweise wird gemäß einer Maßzahl, dem betrachteten Netzwerk aus graphentheoretischer Sicht, für jede Verbindung im Netzwerk eine Länge oder ein Gewicht zugewiesen. Mit einem Algorithmus der den kürzesten Pfad findet, kann dann der Kommunikationspfad von einem gegebenen Quellenknoten zu jedem anderen Knoten des Netzwerkes errechnet werden.

Um mit einem solchen Verfahren den Austausch von Datenpaketen bewerkstelligen zu können, muß in einem Netzwerk zwischen einem Empfänger und einem Sender ein Pfad oder ein Satz von Pfaden vor der Übertragung festgelegt werden, aus dem der Routing-Algorithmus auswählen kann. Beispielsweise werden Routing-Tabellen in jedem Kommunikationsknoten gespeichert, welche für ein eintreffendes Kommunikationspaket den richtigen Ausgang auf eine Kommunikationszwischenstrecke angeben.

Zur Erstellung von korrekten Routing-Tabellen in den einzelnen Kommunikationsknoten entlang eines Kommunikationspfades gibt es verschiedene Routing-Strategien. Eine der einfachsten Strategien einen Pfad zu finden, besteht darin, ein festes Routing anzugeben. Dabei ist die Kommunikationsverbindung unflexibel und die Kommunikationsverbindung wird immer über dieselben Kommunikationszwischenstrecken aufrechterhalten.

Eine weitere besteht im broadcasting jedes Datenpaketes zu allen anderen Netzwerknoten. Diese Vorgehensweise kann beispielsweise nötig sein, falls topologische Veränderungen im Netzwerk stattfinden. Solche topologischen Veränderungen können beispielsweise Fehler oder Veränderungen sein und der broadcast dient in diesem Falle dazu, alle Kommunikationsteilnehmer von den Veränderungen in Kenntnis zu setzen. Eine Variante des broadcasting stellt das Fluten durch das Netzwerk dar. Dabei sendet der Quellenknoten Datenpakete zu allen seinen Nachbarknoten und diese wiederum senden Datenpakete zu ihrem weiteren Nachbarknoten, außer zu jenem, welcher die Nachricht an sie verschickt hat.

Das Gegenteil vom festen Routing stellt das adaptive Routing dar. Dies bedeutet, daß das Netzwerk bzw. die Kommunikationsverbindung flexibel auf dynamische Veränderungen in Netzwerk, welche die Topologie oder die Last des Netzes betreffen, reagieren kann. Eine lokale Routing-Strategie benutzt dabei lokal zugängliche Informationen, wie z. B. die Längen der Warteschlangen von allen ausgehenden Verbindungen. Verfahren, welche diese Strategien einsetzen werden auch isolierte Routing-Algorithmen genannt. Bekannt sind auch verteilte Routing-Strategien, welche Mischungen von globalen und lokalen Routing-Strategien darstellen. Von den bekannten Verfahren benötigen jedoch alle Informationen über die Netzwerktopologie, die Last auf dem Netz, und die Kosten der Kommunikationsverbindungen. Falls beispielsweise ein zentralisiertes Routing eingesetzt wird, wird von einem Routing-Control-Center der Status jedes einzelnen Kommunikationsknoten im Netzwerk überwacht, wie z. B. eine Liste von Nachbarn, aktuelle Längen der Warteschlangen, momentan vorhandene Topologie, die Verkehrsdaten für die einzelnen Leitungsverbindungen seit dem letzten Report usw. Von diesem zentralen Routing-Control-Center können neue Routing-Tabellen erstellt und an alle weiteren Stationen verteilt werden. Eine weitere Möglichkeit von Routing-Strategien stellt das Multipfad-Routing dar. Falls dabei mehr als ein optimaler Kommunikationspfad möglich ist, so kann die Kommunikationslast über die möglichen Pfade verteilt werden. Beispielsweise ist es auch möglich, die möglichen Pfade mit Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von unterschiedlichen Lasten zu gewichten. Durch das Multipfad-Routing wird beispielsweise die Verzögerung beim Verteilen von Datenpaketen durch das Netzwerk minimiert. Die Kriterien um den optimalen Pfad durch das Netzwerk zu finden, werden auch Routing-Metriken genannt.

Eine weitere Möglichkeit stellt das verteilte adaptive Routing dar. Dabei muß jeder Knoten im Netzwerk beispielsweise folgende Tätigkeiten ausführen:

- Das Sammeln und Messen von Informationen über die Netzwerktopologie, weil es in Abhängigkeit des Netzwerkes vielfältige Kriterien gibt, welche die Routingentscheidung beeinflussen können.
- Den Austausch der gesammelten Information mit anderen Kommunikationsknoten; dies wird üblicherweise durch Fluten im Netzwerk bewerkstelligt.
- Berechnung des kürzesten Pfades zu allen anderen Knoten basierend auf der Topologieinformation, was ein gut gelöstes bekanntes Problem darstellt.

Allen bekannten Routing-Strategien, welche den kürzesten Pfad bestimmen, ist jedoch gemeinsam, daß sie

lediglich einen Netzwerkparameter verwenden, um die Routing-Information zu generieren. Dabei verwenden unterschiedliche Routing-Verfahren unterschiedliche Parameter, wie beispielsweise die Übertragungsverzögerung, die Zahl der Relais-Stationen, etc. Die Routing-Entscheidung wird jedoch exklusiv anhand dieses Parameters erstellt, so daß die Netzkommunikation lediglich anhand dieses einzigen Parameters, wie beispielsweise der Verzögerungszeit optimiert wird; weitere wichtige Kriterien für einen Netzbetreiber, wie beispielsweise die Verbindungskosten werden nicht berücksichtigt. 5

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe besteht deshalb darin, eine verbesserte Kommunikationsanordnung und ein verbessertes Verfahren zur Bewertung von mindestens zwei mehrteiligen Kommunikationsverbindungen zwischen zwei Kommunikationspartnern in einem Mehrknotennetzwerk anzugeben.

Für das Verfahren wird diese Aufgabe gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und für die Kommunikationsanordnung gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst. 10

Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß damit erstmals mehrere metrische Parameter, welche unterschiedliche Aspekte der Kommunikationsverbindung beschreiben bei der Bewertung der Verbindung herangezogen werden können. Besonders vorteilhaft werden beim Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens die Bewertungskategorien Zeitverhalten, Sicherheit und Leistung der Kommunikationsverbindung gewählt, da damit eine umfassende Beschreibung und Auswertung der jeweiligen Verbindung möglich wird. 15

Günstigerweise werden bei der Ermittlung der Meßparameter, also der Routing-Metrics für die einzelnen Bewertungskategorien mehrere Meßgrößen erfaßt, da damit eine sichere Aussage über den jeweiligen Zustand des Netzes getroffen werden kann. Auch wird es so möglich, die einzelnen Meßgrößen zu gewichten und gegeneinander abzuwägen. 20

Besonders vorteilhaft wird das erfindungsgemäße Verfahren durch den Einsatz unscharfer Logik ausgeführt, denn diese ist dafür bekannt, daß sie besonders einfach dem Einsatz und die Auswertung mehrerer gleichwertiger Meßgrößen erlaubt. Dabei wird vorteilhaft für jede einzelne Bewertungskategorie ein einziger Fuzzy-Regelsatz ausgewertet. 25

Besonders vorteilhaft werden durch das erfindungsgemäße Verfahren mehrere Meßgrößen, die in einem ersten Schritt mittels eines einzigen Fuzzy-Regelsatzes ausgewertet wurden, wieder als eine linguistische Variable dargestellt, wobei so für jede einzelne Bewertungskategorie eine linguistische Variable gefunden werden kann, die im Anschluß dann mit einem weiteren Fuzzy-Regelsatz, dem Hauptregelsatz, zu einem Gewicht für die jeweilige zu bewertende Kommunikationsverbindung beiträgt. 30

Vorteilhaft werden, um eine praxisnahe Beurteilung der Verbindung bewerkstelligen zu können, Fuzzy-Regelsätze gebildet für Kosten und Übertragungskapazität, Übertragungszeit und Kosten, Verzögerungszeit und Änderung der Verzögerungszeit, sowie der Verbindungssicherheit und der Paketsicherheit.

Günstigerweise werden mit dem erfindungsgemäßen in Verfahren einer zweiten Auswertungsstufe für den Hauptregelsatz Fuzzy-Regeln ausgewertet, welche das Zeitverhalten der Kommunikationsverbindung mit der Sicherheit, das Zeitverhalten der Kommunikationsverbindung mit der Leistung verbinden, und die Leistung der Kommunikationsverbindung mit der Sicherheit der Verbindung verknüpfen. Durch Anwendung dieser Verknüpfungen wird eine praxisnahe Bewertung der jeweiligen Verbindung gewährleistet. 35

Günstigerweise wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Bewertung potentiell möglicher Kommunikationsverbindungen eingesetzt und diejenige ausgewählt, welche das günstigste Bewertungsmaß, sprich das Gewicht erhält. Auf diese Weise wird sichergestellt, daß für einen Kommunikationsanwender ein optimaler Nutzen erzielt wird. 40

Günstigerweise wird das erfindungsgemäße Verfahren in einer Kommunikationsanordnung eingesetzt, welche ringförmige Verbindungen zweier Kommunikationsteilnehmer über mehrere Relaisstationen erlaubt, da so die Netzlast und die Kosten für die Kommunikationsteilnehmer minimiert werden können. 45

Günstigerweise wird das erfindungsgemäße Verfahren auf jedem Knoten eines Kommunikationsnetzwerkes ausgeführt, da so eine Redundanz gewährleistet wird und aktuell immer die richtigen Netzdaten zur Verfügung stehen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren weiter erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Blockschema als Beispiel für ein erfindungsgemäßes Verfahren. 50

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Fuzzybewertungssystems.

Fig. 3 gibt ein Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen Kapazität an.

Fig. 4 gibt ein Beispiel der Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistische Variable Leistung an.

Fig. 5 gibt ein Beispiel für die linguistische Variable Gewicht an. 55

Fig. 6 gibt ein Beispiel für die Messung der Verzögerungszeit zwischen zwei Kommunikationsknoten an.

Fig. 1 zeigt als Beispiel ein Schemabild für das Zusammenwirken mehrerer Komponenten in einem Mehrknotennetzwerk. Zum Beispiel wird in einem Baustein Top von jedem Knoten die Topologie des Netzes ermittelt. Dies geschieht beispielsweise durch die Messung der einzelnen Verbindungslängen zwischen den verschiedenen Knoten. Beispielsweise kann auch die Verzögerungszeit jedes Knotens mit dem ihm inzidenten Verbindungen ermittelt werden. Beispielsweise werden diese Daten im Anschluß mit Hilfe eines flooding Verfahrens Floo, weiter oben als Fluten bezeichnet, allen anderen Knoten mitgeteilt. In einem weiteren Baustein werden die besten Knoten mit Hilfe eines theoretischen Algorithmus Sho ermittelt. Das erfindungsgemäße Verfahren setzt also dort an, wo es gilt, die Ermittlung und Auswertung der Topologieparameter zu verbessern. Weiter oben wurde in diesem Zusammenhang auch von den Routing-Metriken gesprochen. Beispielsweise lassen sich durch ein Fuzzy-System Fuzz wesentlich mehr als lediglich ein oder zwei Parameter leicht zu einer allgemeinen Bewertung der Verbindungen verknüpfen. Diese Bewertung der Verbindung kann dann als Eingangsgröße für einen shortest-path-algorithmus verwendet werden. Hier in Fig. 1 ist dieser mit Sho bezeichnet. 60 65

Beispielsweise soll in jedem Netzknoten ein derartiges Routing-Verfahren installiert werden. Beispielsweise ermittelt jeder Knoten die Eingabeparameter, der mit ihm inzidenten Verbindungen für das erfindungsgemäße Fuzzy-System. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß für die Ausführung der Erfindung die Fuzzy-Logik am geeignetsten erscheint, daß jedoch andere Verfahren angewendet werden können, mit welchen mehrere Größen bezüglich ihrer Gewichte ausgewertet werden können. Hier wird lediglich die Fuzzy-Logik als beispielhafter Lösungsansatz dargestellt, um anschaulich zu machen, worauf es bei der Erfindung ankommt. Beispielsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt, sobald sich eine signifikante Änderung eines der Eingabeparameter ergeben hat. Diese Änderung wird beispielsweise im Baustein Top der Schemazeichnung in Fig. 1 ermittelt und anschließend an die Bewertungsbausteine Fuzz weitergegeben. Führt diese Bewertung der neuen Verbindungsparameter beispielsweise zu einer Änderung der Bewertung mindestens einer der Verbindungen, so wird beispielsweise

- der Vektor der aktualisierten Bewertungen für die Verbindungen durch flooding über das Netz verteilt
- mit Hilfe eines shortest path Algorithmus, beispielsweise dem SPF-Algorithmus, die Routing Tabelle aktualisiert.

Im folgenden werden einige Eingangsparameter zur Bewertung von Verbindungen angegeben, welche im erfindungsgemäßen Verfahren jedoch nicht alle realisiert wurden. Beispielsweise stehen als Eingangsgrößen des erfindungsgemäßen Verfahrens zunächst alle auf der Ebene des Routing im Netzwerk verfügbaren Informationen zur Auswahl. Insbesondere scheinen dabei folgende Parameter geeignet:

- die Verbindungslänge als physikalische Entfernung zwischen zwei Knoten. Da nicht alleine die Entfernung zwischen zwei Knoten, sondern auch die Beschaffenheit des Übertragungsmediums (z. B. Kupferkabel, Glasfaserkabel, Funkverbindung) einen Einfluß auf die Zeit hat, die die Signale benötigen, um von einem Knoten zum nächsten zu gelangen, erscheint es günstig, die Übertragungszeit für ein Paket als Eingabe für das erfindungsgemäße Verfahren zu wählen.
- Wird beispielsweise von einem Datagramm-orientierten Netz ausgegangen, so kann die Übertragungszeit für ein ganzes Paket ebenso verwendet werden, wie die Signallaufzeit zwischen zwei Knoten. Mit Übertragungszeit ist dabei also die Zeit gemeint, die vom Beginn der Übertragung auf das Medium (das erste Bit des Pakets wird ins Netz eingespeist) vergeht, bis das letzte Bit des Pakets den nächsten Knoten erreicht hat. Solange eine Verbindung besteht, ist die Übertragungszeit eine konstante Größe für die jeweilige Verbindung.
- Eine weitere Eingangsgröße, die als Zeit gemessen werden kann, stellt die Verzögerungszeit dar, welche ein Paket auf seinem Weg von einem Knoten zum folgenden erfährt. Beispielsweise wird dabei die Zeit gemessen, die vom Zeitpunkt des Versendens eines Paketes an einen Nachbarknoten bis zur Ankunft der Quittung, welche der Nachbarknoten zurückschickt, vergeht. Dem Paket wird dabei ein Zeitstempel mit dem Ausgangszeitpunkt mitgegeben, welcher in der Quittung an den sendenden Knoten geschickt wird. Hierdurch wird erreicht, daß an der Messung alleine die Uhr des sendenden Knotens beteiligt ist. Der konstante Teil der Versendungszeit ist dabei beispielsweise die Übertragungszeit. Dabei fließen im wesentlichen die Zeiten ein, die zur Protokollverarbeitung und in der Warteschlange verbracht werden. Hier geht beispielsweise auch indirekt die Lastsituation mit in die Bewertungen der Verbindung ein, wie dies Fig. 6 zeigt. Dort wird der Unterschied zwischen der Verzögerungszeit und der Übertragungszeit dargestellt. In Fig. 6 bedeutet t_0 den Zeitpunkt an dem der Sender Sen ein Paket abschickt. Mit t_1 ist der Zeitpunkt bezeichnet, an dem ein gesendetes Paket beim Empfänger Em in die Eingangswarteschlange eingereiht wird. Mit t_2 wird der Zeitpunkt bezeichnet, an welchem die Quittung zurückgesendet wird. t_3 bedeutet, daß der Empfänger die Quittung erhält und einen Vergleich des Zeitstempels mit der inneren Uhr durchführen kann. Die Übertragungszeit in Fig. 6 berechnet sich also zu $t_1 - t_0$. Der Sender Sen und der Empfänger Em sind also beispielsweise zwei Knoten innerhalb eines Mehrknotenkommunikationsnetzwerkes.
- Da die Verzögerungszeit einer der wichtigsten Parameter ist, wird auch die Änderung der Verzögerungszeit gemessen und als Eingang in das erfindungsgemäße Bewertungssystem gewählt. Der Hintergedanke dabei ist, daß bei einer momentan steigenden Verzögerungszeit auf einer Verbindung mit den nächsten Sekunden mit einer erhöhten Verzögerungszeit zu rechnen ist und daher diese Verbindung weniger hoch zu bewerten ist.
- Da die Auslastung eines Rechnernetzes mit der Tageszeit beispielsweise schwankt, erscheint es sinnvoll diese ebenfalls in die Bewertung einer Verbindung mit einfließen zu lassen. Falls jedoch zur Messung der Meßparameter kurze Intervalle gewählt werden, so werden auch von der Tageszeit abhängige Schwankungen erfaßt und es kann auf die Erfassung des Tageszeitparameters verzichtet werden.
- Im Hinblick auf zukünftige Technologien, wie beispielsweise ATM-Netze und Anwendungen, wie Multimedia und Breitbanddienste könnte die Art des Verkehrs (Daten, Sprache, Video, ...) auch mit in die Routing-Entscheidung einfließen. Dies bedeutet jedoch, daß für jede Art des Verkehrs eine eigene Routing-Tabelle zu errechnen ist, was einen höheren Speicher- und Rechenaufwand bedeutet.
- Weiterhin kann auch die Kapazität der Leitung mit berücksichtigt werden, denn bei einer hohen und noch steigenden Verzögerungszeit ist zu erwarten, daß die Bandbreite der Verbindung schon voll ausgenutzt wird.
- Die Nachrichtenlänge, beispielsweise die Anzahl der Pakete die zu einer Nachricht gehören, kann ebenfalls ausgewertet werden, wenn sie zu Beginn einer Übertragung bekannt ist.

Sie könnte beispielsweise zu Vorhersagen, über die zu erwartende Lastsituation verwendet werden.

- Die Hop-Anzahl, zuvor auch mit Zahl der Relais-Stationen auf einer Verbindungsstrecke bezeichnet, könnte ebenfalls in die Routing-Entscheidung mit einbezogen werden, ist jedoch nur sinnvoll wenn kein verteiltes Routing stattfindet.
- Weiterhin bietet sich das Alter der Routing-Information als Eingabe für das Bewertungssystem an.
- Werden beispielsweise die Kosten für die Benutzung einer Verbindung mit in die Bewertung der Verbindung eingebracht, so läßt sich der Verkehr eher über kostengünstigere Verbindungen leiten, als über 5
teuerere Verbindungen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die billigen Verbindungen überlastet werden könnten.
- Einen weiteren Parameter erstellt die Sicherheit der Verbindung dar. Dabei wird beispielsweise die Ausfallsicherheit bzw. das Vertrauen in die Verfügbarkeit einer Verbindung als Wahrscheinlichkeit ermit- 10
telt, daß die Verbindung nicht ausfällt.
- Ebenso kann die Ausfallsicherheit des Nachbarknotens in einem Kommunikationsnetzwerk dem jeweili-
gen Kommunikationsnetz bekannt gemacht werden. Bei Routing-Entscheidungen können dann beispiels-
weise Nachbarknoten ausgewählt werden, die bekanntermaßen stabiler sind als andere.
- Einen weiteren Parameter kann die Paketverlustwahrscheinlichkeit darstellen. Dieser Parameter be- 15
schreibt die Wahrscheinlichkeit, daß ein Paket aufgrund von Überlastsituationen verloren geht.

Vorteilhaft werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren diese angegebenen Parameter in drei Bewertungs-
kategorien zusammengefaßt. Sie dienen dem erfindungsgemäßen Verfahren beispielsweise als Eingangsvariab-
len für ein zweistufiges Fuzzy-System, das eine gewichtete Verbindungslänge ermittelt. Vorteilhaft werden 20
folgende drei Gruppen gebildet:

- 1) "Kapazität", "Kosten" und "Übertragungszeit" werden beispielsweise zur Gruppe der Leistungskriterien
zusammengefaßt.
- 2) "Verzögerungszeit" und die "Änderung der Verzögerungszeit" werden beispielsweise als Kriterien des 25
Zeitverhaltens der Verbindung zusammengefaßt.
- 3) Die drei Größen "Sicherheit der Verbindung", "Ausfallsicherheit des Nachbarknotens" und die "Paketver-
lustwahrscheinlichkeit" werden beispielsweise zur Gruppe der Sicherheitskriterien zusammengefaßt. Das
erfindungsgemäße Verfahren wurde dabei so ausgelegt, daß kein spezielles existierendes Rechnernetz zu
seiner Funktionsweise zugrundegelegt werden muß. 30

Fig. 2 gibt ein Beispiel für ein erfindungsgemäßes Bewertungssystem von Kommunikationsverbindungen an.
Es wird hier schematisch dargestellt. Dabei bedeuten rechteckige Kästen linguistische Variablen, Kreise die
Regelbasis und Dreiecke, sog. Prozessoreinheiten, welche Rechenarbeiten durchführen können. Vorteilhaft wird
das erfindungsgemäße Verfahren als zweistufiges System konzipiert. In der ersten Stufe werden beispielsweise 35
die Eingangsvariablen eingeteilt in die drei zuvor erwähnten Gruppen. Kapazität ist mit Kap, Kosten mit Kos,
die Übertragungszeit mit t_{ub} bezeichnet. Die Änderung der Verzögerungszeit ist mit dt_v und die Verzögerung
selbst mit t_v bezeichnet. In den Sicherheitskriterien werden die Verbindungssicherheit als VSAF, die Knotensie-
cherheit als NSAF und die Paketsicherheit als PSAF bezeichnet. Für diese drei Gruppen werden anschließend
vorzugsweise drei Regelbasen erstellt, welche die entsprechenden Zwischenvariablen, d. h. die linguistischen 40
Variablen für Leistung der Verbindung, Zeitverhalten der Verbindung und Sicherheit der Verbindung bestim-
men. In einem zweistufigen Verfahren stellen diese linguistischen Variablen Zwischenvariablen dar. Es ist jedoch
auch denkbar, daß diese Variablen direkt über arithmetische Verfahren ausgewertet werden, um ein Gewicht für
die entsprechende Leitung zu bestimmen. Dabei sind die einzelnen Fuzzy-Regelsätze wie folgt bezeichnet. Die
Leistungsregeln mit L_R, die Zeitregeln mit V_R und die Sicherheitsregeln mit S_R. Die sich ergebenden 45
Zwischenvariablen für die Leistung mit POW für die Zeit mit t und für die Sicherheit mit SAF. Diese linguisti-
schen Zwischenvariablen werden dann beispielsweise einer zweiten Stufe den Hauptregeln H_R zugeführt,
durch welche mittels unscharfer Logik das Gewicht für die jeweilige Leitung errechnet wird. Beispielsweise stellt
dieses Gewicht eine Bewertungszahl aus dem Intervall $[0, 1]$ dar. Eine Zahl nahe 1 bedeutet dabei beispielsweise
eine sehr gute Bewertung und eine Zahl nahe 0 analog dazu eine sehr schlechte Bewertung. Dieses Gewicht kann 50
direkt als Eingang für einen Algorithmus Sho verwendet werden, der anhand des Gewichtes WEIG die kürzeste
Verbindung ausrechnet.

Dieses Gewicht wird beispielsweise über den Prozessor PRO1 an einem Ausgang des Bewertungssystems als
g_L zur Verfügung gestellt. An einem weiteren Ausgang wird durch den Prozessor PRO2 das Kantengewicht für
die jeweilige Verbindung in Form des inversen Gewichtes als Kan zur Verfügung gestellt. Dabei besitzt die 55
zweistufige Version des erfindungsgemäßen Verfahrens folgende Vorteile:

1. Die Zwischenvariablen lassen sich beispielsweise direkt als Eingangsgrößen einem auf Basis vom Fuzzy-
Regeln funktionierenden Routing-Algorithmus zuführen.
2. Dadurch wird das Design der Regelbasis übersichtlicher gestaltet. Es ist leicht vorstellbar, daß eine 60
Regelbasis für acht Eingangsvariablen sehr unübersichtlich werden kann. Durch die Gruppierung der
Eingangsvariablen läßt sich dabei der Entwurf der Regelbasis systematischer gestalten.

Die Fig. 3 bis 5 geben Beispiele für die einzelnen linguistischen Variablen an. Beispielsweise ist allen Variablen
das Intervall $[0, 1]$ als universe of discourse zugrundegelegt worden. Die Meßwerte werden beispielsweise vor 65
Eingang in das Fuzzy-System auf dieses Intervall normiert. Eine Ausnahme hierzu stellt lediglich die Variable
"Änderung der Verzögerungszeit" dar.

Fig. 3 gibt ein Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktion der linguistischen Variablen Kapazität an. Vorzugswei-

se werden für die Beurteilung der Kapazität 5 Fuzzy-Mengen:

"VL" very LOW, "LOW", "MED" (Medium), "HIGH" und "VH" (Very high) mit beispielsweise Dreieckszugehörigkeitsfunktionen bei LOW, MED und HIGH, bzw. halben Dreiecksfunktionen bei VL und VH. Fig. 3 zeigt hier beispielsweise die graphische Darstellung der Variablen "Kapazität". Vorzugsweise wird die Variable "Kosten der Verbindung" ebenso ausgestaltet wie die Variable "Kapazität" und ebenso die Variable "Übertragungszeit der Verbindung". Für die "Variable Änderung der Verzögerungszeit" wird vorzugsweise als universe of discourse das Intervall $[-1; 1]$ zugrundegelegt. Dann kann vorteilhaft das Vorzeichen der Änderung der Verzögerungszeit bei der Auswertung mit berücksichtigt werden. Die Fuzzy-Mengen werden dafür entsprechend mit "NM" Negativ-Medium N negativ, "ZERO" P positiv und "PM" positive-medium benannt. Die folgenden weiteren berücksichtigten Variablen werden vorzugsweise ebenso wie die linguistische Variable Kapazität aufgebaut:

- Verzögerungszeit
- Verbindungssicherheit
- Knotensicherheit
- Paketsicherheit.

Die hier vorgestellten Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Variablen stellen lediglich Beispiele dar. Der Fachmann, welcher die Erfindung nachvollziehen will, kann im einzelnen auch aus technischen Gründen andere Zugehörigkeitsfunktionen vorsehen, welche nicht dreiecksförmig sind, sondern irgendeine andere Kurvenform aufweisen. Auch kann es im Einzelfall aus technischen Gründen sinnvoll sein, zur Bewertung mehrere Fuzzy-Mengen vorzusehen.

Fig. 4 gibt ein Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktion der linguistischen Variablen "Leistung" an. Dabei ist zu beachten, daß die Leistung durch die Bewertung der Eingangsgrößen mit Hilfe der Leistungsregeln errechnet wurde. Beispielsweise besteht die variable Leistung wie die Eingangsvariablen aus fünf Fuzzy-Mengen. Sie repräsentiert vorzugsweise das Preis-Leistungsverhältnis der Verbindung. Damit nach der Defuzzifizierung mit beispielsweise der "max-dot-centroid"-Methode auch die Randwerte Null, bzw. 1 erreicht werden, werden für alle Fuzzy-Mengen Dreiecksfunktionen als Zugehörigkeitsfunktionen gewählt. Hier wird als universe of discourse beispielsweise das Intervall $[-0,25, 1,25]$ zugrundegelegt. Die Variable "Zeit" wird beispielsweise ebenso aufgebaut wie die Variable "Leistung". Sie repräsentiert die zeitlichen Bedingungen auf der betrachteten Verbindung. Dabei repräsentiert die Menge VL ein sehr schlechtes Zeitverhalten, also eine hohe Verzögerungszeit. Analog repräsentieren die anderen Fuzzy-Mengen der Variablen "Zeit" entsprechend günstigere Zeitverhältnisse. Die Variable "Sicherheit" ist dabei vorzugsweise ebenso wie die Variable "Zeit" aufgebaut. Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß es sich bei diesen genannten Variablen um Zwischenvariablen handelt, welche bereits aus einer fuzzy-logischen Bewertung der Eingangsgrößen hervorgegangen sind. Vorzugsweise werden diese Zwischenvariablen ermittelt, um die einzelnen Regelsätze für die Bewertung der Variablen einfacher gestalten zu können. Hier wird vorzugsweise ausgenutzt, daß lediglich drei Eingangsgrößen durch den Haupt-Fuzzy-Regelsatz H R zu bewerten sind, während bei Bewertung aller Eingangsgrößen acht Eingangsgrößen mittels Fuzzy-Regeln miteinander verknüpft werden müßten.

Fig. 5 zeigt ein Beispiel für die Zugehörigkeitsfunktionen der Ausgangsvariable Gewicht. Vorzugsweise besteht diese aus sieben Fuzzy-Mengen: "VL", "VL", ..., "VH", "VVH". Diese werden beispielsweise über das Intervall $[-0,15, 1,15]$ verteilt. Hier sind als Zugehörigkeitsfunktionen beispielsweise dreieckige bzw. trapezförmige für VL und VH vorgesehen. Dadurch wird den Randwerten eine höhere Bedeutung zuerkannt. Dies hat den Vorteil, daß die endgültige Entscheidung des Fuzzy-Bewertungssystems für eine sehr gute, beziehungsweise sehr schlechte Bewertung prägnanter ausfallen, während im mittleren Bereich ein feines abgestuftes Ergebnis erzielt wird.

Wie bereits oben erwähnt, müssen zur Auswertung der linguistischen Variablen Regelbasen vorgesehen sein. Hier sind dies beispielsweise wegen der zweistufigen Vorgehensweise vier Regelbasen. Die in den vier Regelbasen abgelegten Regeln stellen dabei neben den linguistischen Variablen einen wichtigen Bestandteil des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Sie verknüpfen die fuzzyfizierten Eingangsgrößen zu den Zwischenvariablen bzw. dem endgültigen Verbindungsgewicht. Es folgt nun eine Übersicht über die einzelnen Regelbasen als Beispiel für die entsprechende Auswertung der Größen. Die Formulierung der Regeln ist besonders auf dem Gebiet der Rechnernetze ein heuristischer und subjektiver Vorgang, denn je nach Zielvorstellung des Designers können die Regeln völlig unterschiedlich aussehen. Dies hat zur Folge, daß ein Fachmann in Abhängigkeit des zu regelnden Systems oder der zu bewertenden Netze im Einzelfall unterschiedliche Fuzzy-Bewertungsregeln vorsehen kann. Dabei kann er beispielsweise insbesondere verschiedene Größen verknüpfen, oder auch mehr oder weniger Fuzzy-Regelsätze gemäß seinen Anforderungen vorsehen. In der Regelbasis für die Leistungsregeln L_R in Fig. 2, sind die Regeln zur Verknüpfung der Leistungsparameter der Verbindung enthalten. Dabei repräsentiert die Variable "Leistung" das Preis-Leistungsverhältnis einer Verbindung. So wird z. B. eine Verbindung mit niedrigen Kosten, dabei aber hoher Kapazität und niedriger Übertragungszeit als sehr gut bewertet, während eine Verbindung mit den gleichen Leistungsdaten, aber hohen Kosten allenfalls als gut nicht aber als sehr gut angesehen wird. Vorzugsweise besteht die Regelbasis L_R im wesentlichen aus zwei Gruppen von je 25 Regeln. In der ersten Gruppe werden beispielsweise die Variablen Kapazität in der Matrix Kap und Kosten Kos mittels logischer UND-Verknüpfung verknüpft. Dies ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Verknüpfung ist durch einen Pfeil und durch den Begriff AND symbolisiert. Aus dieser Regelbasis lassen sich also durch UND-Verknüpfung der einzelnen Faktoren 25 Regeln ableiten. Sie ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

AND



Kos					
Kos	VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL					
LOW					
MED					
HIGH					
VH					

In der ersten Spalte bzw. der zweiten Zeile stehen die Terme, welche in den Prämissen mit Hilfe des AND-Operators verknüpft werden. Am Schnittpunkt der Zeile und der Spalte der Prämissenterme stehen die Terme der Ausgangsterme. In der zweiten Gruppe werden die Variablen für die Übertragungszeit und die Kosten miteinander verknüpft. Sie sind mit Kos und t_{Ub} bezeichnet.

Tabelle 2

AND



Kos					
t_{Ub}	VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL					
LOW					
MED					
HIGH					
VH					

Kapazität und Übertragungszeit wurden beispielsweise nicht miteinander verglichen, da erstens den Kosten eine höhere Bewertung zugemessen wurde als den beiden anderen Variablen und es zweitens wenig sinnvoll ist, bei der Ermittlung des Preis-Leistungsverhältnisses die Kosten außer Acht zu lassen, was bei einer Verknüpfung von Kapazität und Übertragungszeit eher geschehen würde. Um beispielsweise übersichtliche und nachvollziehbare Regelbasen zu erhalten, wurde vorzugsweise auf Regeln, bei denen in der Prämisse mehr als zwei Variablen miteinander verknüpft werden, verzichtet.

In der Regelbasis für die Verzögerungsregeln, V_R in Fig. 2, werden die linguistischen Variablen für die Verzögerungszeit t_V und für die Änderung der Verzögerung dt_V zur Zwischenvariablen Zeit, in Fig. 2 mit t bezeichnet, verknüpft. Wie zuvor besteht sie aus 25 Regeln, jede Term der einen Eingangsgröße mit jedem Term der anderen Eingangsgröße mit Hilfe des AND-Operators verknüpfen. Da diese Regelbasis im Gegensatz zu den anderen drei Regelbasen zweidimensional ist, läßt sie sich als Ganzes in Tabelle 3 darstellen:

Tabelle 3

5

10

15

20

25

AND

→

tv	VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL					
LM	VH	VL	HIGH	HIGH	MED
N	VH	VL	HIGH	MED	LOW
ZERO	VH	HIGH	MED	LOW	VL
P	HIGH	MED	LOW	VL	VL
PM	MED	LOW	LOW	VL	VL

Die Regelbasis für die Sicherheitsregeln, in Fig. 2 mit S_R bezeichnet, ist umfangreicher als die beiden anderen Regelbasen. Sie besteht vorzugsweise aus sechs Gruppen von Regeln. Dabei bestehen die ersten drei Gruppen aus einfachen Regeln der Form:

If Variable_a = Term_1, then Variable_b = Term_2

Wobei zur Variablen a in jeder Gruppe jeweils "Verbindungssicherheit", mit VSAF bezeichnet, "Knotensicherheit", mit NSAF bezeichnet, und "Paketsicherheit", mit PSFAF bezeichnet, eingesetzt werden kann. Variable_b ist immer die "Sicherheit". Durch diese insgesamt 15 Regeln wird die Regelfläche eines linearen Reglers erzeugt. Diese Regelsätze sind in Tabelle 4a, b, und c dargestellt.

Tabelle 4

40

a)

b)

c)

45

50

55

60

65

VSAF	SAF
VL	VL
LOW	VL
MED	MED
HIGH	HIGH
VH	VH

NSAF	SAF
VL	VL
LOW	VL
MED	MED
HIGH	HIGH
VH	VH

PSAF	SAF
VL	VL
LOW	VL
MED	VH
HIGH	HIGH
VH	MED

In den restlichen drei Regelgruppen werden vorzugsweise zwei der Eingangsvariablen miteinander verknüpft. Dies geschieht ebenfalls mit Hilfe eines AND-Operators. Dabei werden aber vorzugsweise nicht alle Möglich-

keiten in der Regelmatrix abgedeckt, nur an den Rändern, d. h. in den Bereichen, in denen eine der beiden betrachteten Variablen extreme Werte annimmt, werden Regeln formuliert. Auf diese Weise wird die Regelfläche an den Rändern steiler und bleibt in der Mitte annähernd linear. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 5 dargestellt, wobei die Verbindungssicherheit mit VS und die Knotensicherheit mit KS bezeichnet ist.

Tabelle 5

AND



KS		VL	LOW	MED	HIGH	VH
VS		VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL	VL	VL	VL	VL	VL	LOW
LOW	VL	VL	VL			LOW
MED	VL	VL				MED
HIGH	VL				HIGH	HIGH
VH	LOW			MED	HIGH	VH

Vorzugsweise sind die beiden weiteren Regelgruppen für Verbindungssicherheit und Paketsicherheit, bzw. Knotensicherheit und Paketsicherheit analog aufgebaut.

Eine besonders wichtige Regelbasis stellen schließlich die Hauptregeln, in Fig. 2 mit H_R bezeichnet, dar. Sie sind besonders wichtig, da hier die Zwischenvariablen zur vorläufigen Ausgangsgröße Gewicht WEIG verknüpft werden. Dabei ist zu beachten, daß die Zwischenvariablen aus 5 Termen, von "VL", ... "VH" aufgebaut sind, die linguistische Variable Gewicht zur Genauigkeit aber aus sieben Termen "VL", ... "VVH" besteht.

Wie die Sicherheitsregeln S_R, so lassen sich auch die Hauptregeln H_R in sechs Gruppen von Regeln einteilen. Die ersten drei Gruppen bestehen vorzugsweise aus ebenso einfachen Regeln, wie die ersten drei Gruppen der Sicherheitsregeln S_R. Hier wird von jeder Zwischenvariablen, wie Leistung, Zeit und Sicherheit, in Fig. 2 mit POW, t und SAF bezeichnet, direkt auf die Zielgröße Gewicht, in Fig. 2 mit WEIG bezeichnet, abgebildet.

Da der Variablen Zeit die größte Bedeutung für die Routing Entscheidung beigemessen wurde, wurde in diesen drei Gruppen die Möglichkeit den Regeln Gewichte zuzuordnen, genutzt. Beispielsweise werden die Regeln, welche die variable Zeit auf die Variable Gewicht abbilden, mit 150% gewichtet, während die anderen beiden Gruppen der einfachen Regeln nur mit 50% gewichtet werden. Wiederum ist hierbei zu vermerken, daß es sich lediglich um Beispiele handelt, so daß vom Fachmann ohne Beeinträchtigung der Erfindung auch andere Gewichtungen oder gar keine Gewichtungen vorgesehen werden können. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 6a bis 6c dargestellt.

Tabelle 6

a)

POW	WEIG
50%	
VL	VVL
LOW	VL
MED	MED
HIGH	VH
VH	VVH

b)

POW	WEIG
50%	
VL	VVL
LOW	VL
MED	MED
HIGH	VH
VH	VVH

c)

SAF	WEIG
VL	VVL
LOW	VL
MED	VL
HIGH	VH
VH	VVH

In den drei restlichen Regelgruppen werden, wie bei den Sicherheitsregeln jeweils zwei der Zwischenvariablen mit AND verknüpft, wobei beispielsweise die Regelmatrixen auch nur an den Rändern besetzt sind. Zunächst beispielsweise die Regeln in denen die Sicherheit SAF mit der Zeit t verknüpft wird, wie dies in Tabelle 7 dargestellt ist.

Tabelle 7

	t	VL	LOW	MED	HIGH	VH
AND	SAF	VL	LOW	MED	HIGH	VH
↓	VL	VVL	VVL	VVL	VL	VL
	LOW	VVL	VVL			LOW
	MED	VVL				HIGH
	HIGH	VL			VVH	VVH
	VH	VL	LOW	HIGH	VVH	VVH

An den Regeln, welche die Leistung POW mit der t verknüpfen, ist zu erkennen, daß der Variablen "Leistung" im Vergleich zur Variablen "Zeit" eine weniger hohe Bedeutung beigemessen wird. Das heißt eine schlecht bewertete Leistung wird als nicht so gravierend angesehen, wie eine schlechte Bewertung der Zeit. Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8

AND



t					
LOW	VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL	VVL	VL	VL	LOW	MED
LOW	VVL	LOW			HIGH
MED	VVL				VVH
HIGH	LOW			HIGH	VVH
VH	LOW	MED	HIGH	VH	VVH

Ebenso läßt sich an den Regeln, die die Variable "Leistung" mit der Variablen "Sicherheit" verknüpfen, erkennen, daß eine hohe Sicherheit der Verbindung für wichtig erachtet wird, als eine gute Leistung, denn was nützt eine noch so gute Verbindung, wenn dennoch ein großer Teil der Pakete verloren geht. Dieser Sachverhalt bzw. Regelsatz ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9

AND



SAF					
LOW	VL	LOW	MED	HIGH	VH
VL	VVL	VVL	LOW	MED	HIGH
LOW	VVL	VVL			HIGH
MED	VL				VH
HIGH	VL			VH	VVH
VH	VL	LOW	MED	VH	VVH

Durch den Aufbau der sechs Regelgruppen wird im Zentrum des Intervalles das Verhalten des Fuzzy-Bewertungssystems durch die drei zuerst beschriebenen Regelgruppen bestimmt, während durch die drei letzten Regelgruppen, zu den Rändern hin die Regelfläche steiler gestaltet wird. Dies bedeutet, daß dort das System empfindlicher auf Änderungen der Zwischenvariablen reagiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewertung von mindestens zwei mehrteiligen Kommunikationsverbindungen in einem Mehrknotennetzwerk mit folgenden Merkmalen:

- a) es werden mindestens zwei Bewertungskategorien zur Bewertung einer Kommunikationsverbindung vorgegeben;

b) für eine jeweilige Kommunikationsverbindung wird zu jeder vorgegebenen Bewertungskategorie mindestens je ein Meßwert erfaßt, welcher die Verbindung hinsichtlich der jeweiligen Bewertungskategorie beschreibt;

c) für die jeweilige Kommunikationsverbindung wird ein Bewertungsmaß bestimmt, indem die zugehörigen Meßwerte mindestens bezüglich der Erfüllung der jeweiligen Bewertungskategorie in Form von Erfüllungsgraden bewertet werden und alle Erfüllungsgrade miteinander so verknüpft werden, daß die Kommunikationsverbindung, welche bezüglich der Bewertungskategorien höhere Erfüllungsgrade aufweist, ein optimales Bewertungsmaß erhält.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem mindestens jeweils als Bewertungskategorie Leistung der jeweiligen Kommunikationsverbindung und/oder Zeitverhalten der jeweiligen Kommunikationsverbindung und/oder Sicherheit der jeweiligen Kommunikationsverbindung vorgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem mindestens jeweils als zu erfassende Meßwerte für:

Leistung: Übertragungskapazität, Übertragungskosten, Übertragungszeit,

Zeitverhalten: Verzögerungszeit zwischen zwei Knoten, zeitliche Veränderung der Verzögerungszeit zwischen zwei Knoten,

Sicherheit: Verbindungssicherheit, Knotensicherheit, Paketsicherheit, ermittelt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, bei dem die Meßwerte mittels unscharfer Logik verarbeitet werden, indem sie als linguistische Variablen behandelt werden, deren Erfüllungsgrade mit Hilfe von Zugehörigkeitsfunktionen bestimmt werden, indem für jede der Bewertungskategorien mindestens ein Fuzzy-Regelsatz verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Bewertungsmaß für die jeweilige Kommunikationsverbindung unter zweimaliger Anwendung unscharfer Logik gebildet wird, indem die Erfüllungsgrade für die einzelnen Bewertungskategorien mittels unscharfer Logik verarbeitet werden, wobei sie als linguistische Variablen behandelt werden, die mit Hilfe von mindestens einem Haupt-Fuzzy-Regelsatz ausgewertet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, bei dem mindestens jeweils Regelsätze verwendet werden, welche folgenden Variablen miteinander verknüpfen:

— Kosten der Kommunikationsverbindung mit ihrer Übertragungskapazität

— Übertragungszeit mit den Kosten der Kommunikationsverbindung

— Verzögerungszeit zwischen zwei Knoten mit der zeitlichen Veränderung der Verzögerungszeit zwischen zwei Knoten,

— Verbindungssicherheit der Kommunikationsverbindung mit ihrer Paketsicherheit.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, bei dem als Haupt-Fuzzy-Regelsatz mindestens jeweils Regelsätze verwendet werden, welche folgenden Variablen miteinander verknüpfen:

— Zeitverhalten der Kommunikationsverbindung mit ihrer Sicherheit

— Zeitverhalten der Kommunikationsverbindung mit ihrer Leistung

— Leistung der Kommunikationsverbindung mit ihrer Sicherheit.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem potentielle Kommunikationsverbindungen bewertet werden und diejenige Potentielle Kommunikationsverbindung für den Aufbau einer realen Verbindung ausgewählt wird, welche das optimalere Bewertungsmaß erhält.

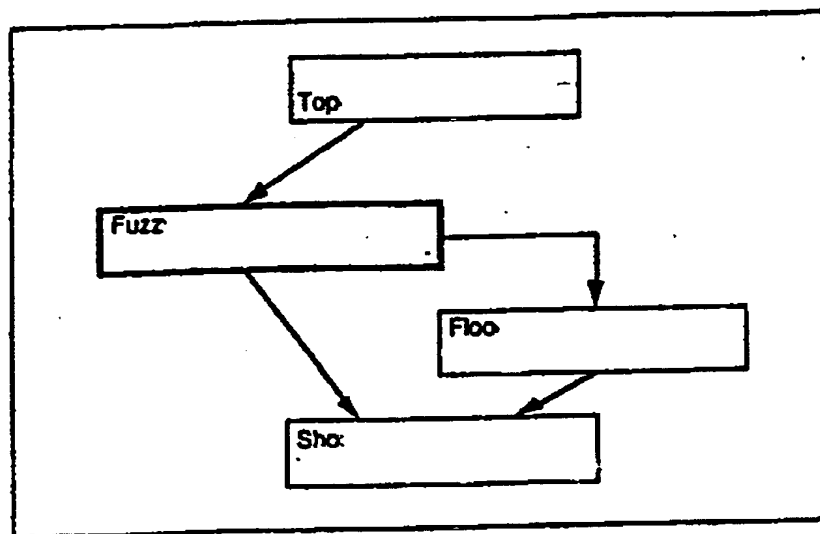
9. Kommunikationsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Kommunikationsknoten und Kommunikationsteilstrecken zwischen den Kommunikationsknoten so angeordnet sind, daß zwei Kommunikationsteilnehmer über mindestens zwei Kommunikationsverbindungen miteinander verbindbar sind.

10. Kommunikationsanordnung nach Anspruch 9, bei dem das Verfahren auf jedem Kommunikationsknoten ausgeführt wird.

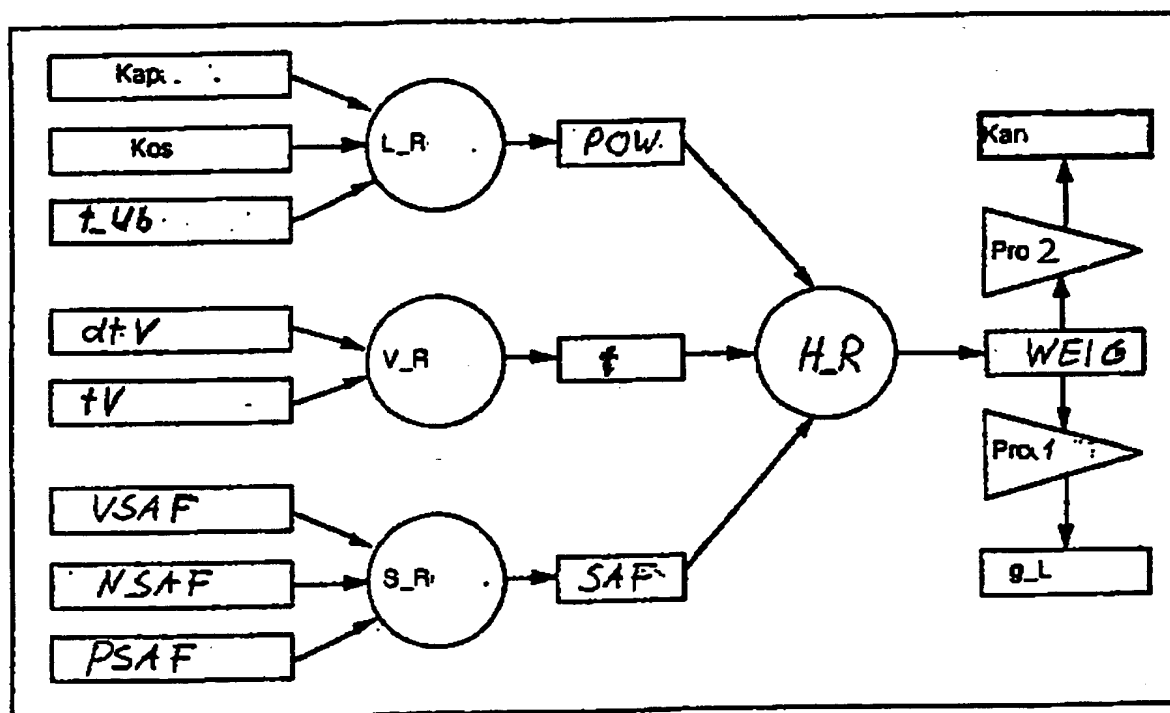
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

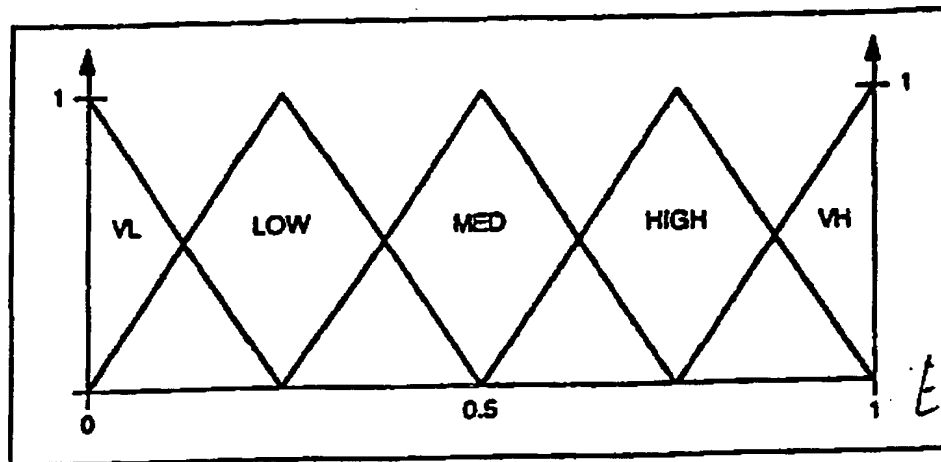
Figur 1



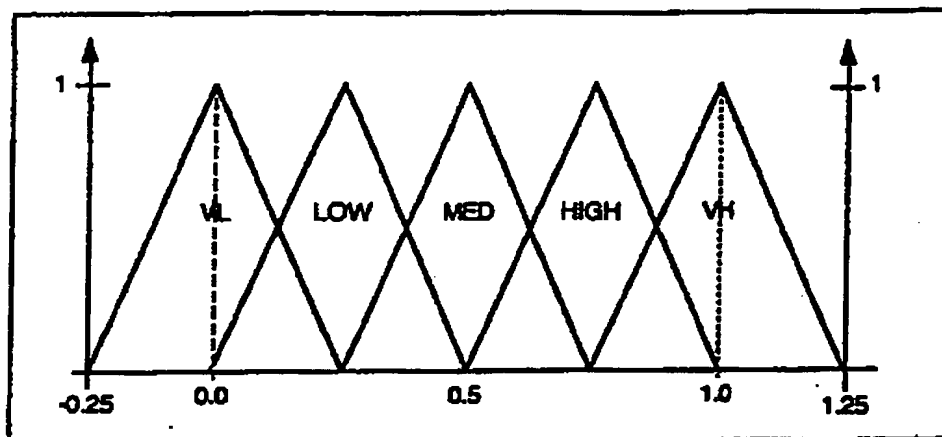
Figur 2



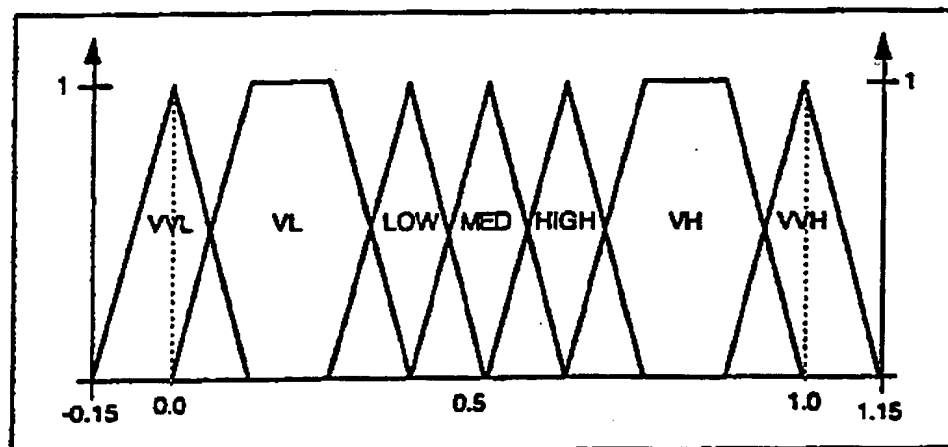
Figur 3



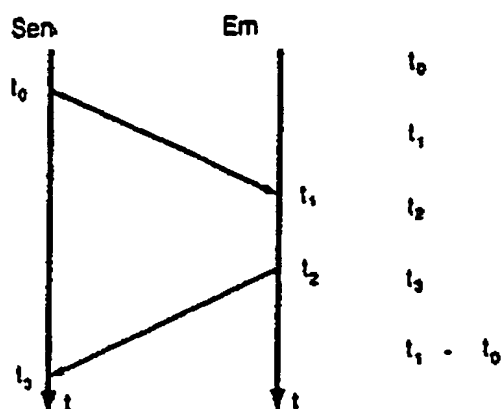
Figur 4



Figur 5



Figur 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (U8PT0)